

AFVOERNORMEN

ir. J. Bon

BIBLIOTHEEK
STARNINGEN

Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatiemiddelen, dus geen officiële publikaties.

Hun inhoud varieert sterk en kan zowel betrekking hebben op een eenvoudige weergave van cijferreeksen, als op een concluderende **discussie** van onderzoeksresultaten. In de meeste gevallen zullen de conclusies echter van voorlopige aard zijn omdat het onderzoek nog niet is afgesloten.

Bepaalde nota's komen niet voor verspreiding buiten het Instituut in aanmerking.

CENTRALE LANDBOUWCATALOGUS



0000 0131 6856

INHOUD

	blz.
I. INVENTARISATIE VAN TOEGEPASTE AFVOER - NORMEN IN ZANDGEBIEDEN	1
1. Inleiding	1
2. Ontwerpnormen	2
3. Overzicht van de gebruikte afvoernormen per provincie	3
4. Beschouwing van de toegepaste normen	8
II. TOETSING VAN DE BESTAANDE AFVOERNORMEN AAN DE HAND VAN AFVOERGEGEVENS	11
1. Achtergronden voor de taxatie van afvoernormen	11
2. Afvoerberekeningen met in de praktijk gehanteerde normen	12
3. Vergelijking van de afvoeren in juni en december	15
4. Afvoerberekening met gedifferentieerde normen	16
5. Afvoerverandering na beekverbetering	19
6. Het verband tussen de oppervlakte en de afvoer van stroomgebieden	20
7. De frequentie van de afvoernorm	23
Conclusies en samenvatting	25
Literatuuroverzicht	27
tabellen en figuren	

HOOFDSTUK I. INVENTARISATIE VAN TOEGEPASTE AFVOERNORMEN IN ZANDGEBIEDEN

1. Inleiding

De eerste grote beekverbeteringen in Nederland, die omstreeks de laatste eeuwwisseling werden uitgevoerd, hadden hoofdzakelijk het voorkomen van zomeroverstromingen tot doel. Ook in de verbeterde afvoersituatie bleek het echter al spoedig niet meer mogelijk te zijn een aanvaardbare ontwatering te bewerkstelligen voor de zich sterk ontwikkelende landbouw. Beekverbeteringen na omstreeks 1930, werden dan ook gebaseerd op een veel grotere afvoercapaciteit. Hierdoor was het niet te verwonderen, dat zich in een aantal gevallen gedurende droge zomers droogteschade voordeed. Een oplossing van dit probleem werd gevonden door het bouwen van stuwen en door wateraanvoer.

Aldus heeft de beekverbetering zich ontwikkeld tot een systeem van waterbeheersing, waarbij het er niet alleen om gaat voldoende afvoercapaciteit van het afwateringssysteem in natte perioden te hebben, doch tevens om een zekere retentie van water in het systeem in droge perioden en daarmee in de grond te bewerkstelligen.

Door de toenemende kennis omtrent de eisen die de landbouw stelt aan de ontwatering, alsmede een beter inzicht in de hydrologie van onze beekgebieden, is vooral de laatste jaren veel aandacht besteed aan de grondslagen van de beekverbetering. Deze aandacht uit zich in de praktijk, door de toepassing van meer gedifferentieerde ontwerpnormen, waarbij de differentiatie niet alleen plaatsvindt naar de topografie, doch ook naar het gebruik van de grond.

Verschillende werkgroepen en commissies hebben zich reeds beziggehouden met het probleem van de beekverbetering. Genoemd mogen hier worden de Werkgroep Afvloeiingsfactoren en de Werkgroep Waterlopen van de Studiekring en Sectie Cultuurtechniek, alsmede de Werkgroep Ontwerptechniek in de Waterhuishouding van het I.C.W.

Het eerste interimrapport (1963) van de eerstgenoemde werkgroep houdt zich hoofdzakelijk bezig met de afvoer uit beekgebieden en de methoden om deze afvoer te analyseren en te reconstrueren.

In het tweede interimrapport (1970) worden onder meer voorbeelden genoemd van een toegepaste differentiatie van afvoernormen voor Drenthe en Noord-Brabant, die berusten op het bergend vermogen van de grond. Te hoge afvoeren uit hellende gebieden of van verharde oppervlakten kunnen door reservoirs worden afgedempt.

De Werkgroep Waterlopen (1958) bracht een rapport uit met voor-schriften voor de berekening van de afmetingen van de leidingen. In het rapport van de Werkgroep Ontwerptechniek (1967) is een aantal specifiek cultuurtechnische begrippen op het gebied van de waterhuishouding nader omschreven. Hierbij is speciaal aandacht besteed aan de onderlinge samenhang tussen verschillende factoren en de consequenties daarvan, op het kiezen van de normen bij het ontwerpen van waterbeheersingsplannen.

Het doel van het in dit artikel beschreven onderzoek is om na te gaan, in hoeverre in de praktijk van de beekverbetering bepaalde recente ontwikkelingen worden toegepast en in welke mate deze toepassing van gebied tot gebied verschilt. Hiertoe is van alle in het archief van de Cultuurtechnische Dienst aanwezige verbeteringsplannen, die sinds 1950 zijn ontworpen of uitgevoerd, nagegaan welke ontwerpcriteria zijn toegepast. De plannen omvatten zowel werken uitgevoerd of nog uit te voeren in ruilverkavelingsverband, als A_2 -werken. Een overzicht van de plannen is weergegeven in tabel 1.

Eenzelfde soort overzicht werd in 1958 door de Koninklijke Nederlandse Heidemaatschappij samengesteld ten behoeve van de Commissie Afvoerfactoren. Dit overzicht betrof alle in de jaren 1930 tot 1958 door deze maatschappij ontworpen en/of uitgevoerde verbeteringen. Deze gegevens zijn ook in het onderhavige onderzoek betrokken en zijn opgenomen in tabel 2.

2. Ontwerpnormen

Afmetingen van te verbeteren of nieuw te graven leidingen worden doorgaans berekend met behulp van de formule van Manning (zie Rapport Werkgroep Waterlopen, 1958). Hiervoor dient van te voren te worden vastgesteld welke maatgevende afvoer en de daarbij behorende hoogwaterlijn, c.q. drooglegging, zal worden toegepast. Deze combinatie bepaalt in feite de differentiatie die wordt toegepast. Door de Werkgroep Ontwerptechniek wordt de te kiezen combinatie omschreven (pag. 80) als slechts zo zelden optredend, dat zij weinig invloed heeft op de grondwaterstanden, maar toch wel weer zo vaak voor komend dat zij ongeschikt is om te dienen

als inundatiecriterium. Aangenomen moet worden (pag. 81), dat het uit de gekozen norm voortvloeiende peilverloop zodanig is, dat aan de gestelde ontwateringseisen in redelijke mate wordt voldaan.

Voor kleinere leidingen wordt soms met een fractie van de ontwerpafvoer en de daarbij behorende grotere drooglegging (normaal waterlijn) of laagwaterlijn gewerkt.

In bepaalde gebieden past men een enkele keer een hogere dan de maatgevende afvoer toe, met een kleine drooglegging (Hoog-hoogwaterlijn) zoals bij steden en belangrijke verkeerswegen.

De gekozen ontwerpnormen bepalen in feite de afmetingen van de leidingen. Een leiding welke bijvoorbeeld berekend is op een afvoer van $0,7 \text{ l/sec.ha}$ bij een drooglegging van 70 cm, kan ook een afvoer verwerken van $1,1 \text{ l/sec.ha}$ bij een drooglegging van 25 cm. De te verwachten frequenties van de genoemde afvoeren zijn echter verschillend, bijvoorbeeld respectievelijk éénmaal per jaar en éénmaal per 50 jaar.

Een verkeerde normkeuze heeft dan ook tot gevolg dat een leiding niet aan de gestelde eisen voldoet, omdat ze of te groot of te klein blijkt te zijn. Binnen dit kader heeft men echter nog de keus tussen zeer diepe en smalle profielen en zeer ondiepe en brede profielen. Hydrologisch zijn genoemde profielen zeer verschillend. Immers bij de eerstgenoemde soort mag een grotere fluctuatie in de peilen worden verwacht. Deze zullen zeer lage waarden hebben in droge perioden. Om enige indruk te hebben over mogelijke peilfluctuaties wordt in de praktijk het gehele stelsel of een deel ervan ook doorberekend met hogere en met lagere afvoeren dan de ontwerpafvoer.

Opgemerkt dient te worden dat ook factoren als grondsoort, klink, taludhelling, stroomsnelheid en begroeiingskans (lagere k_M -waarde) een rol spelen bij de keuze van de vorm van het profiel.

3. Overzicht van de gebruikte afvoernormen per provincie

In de tabellen 1 en 2 zijn de toegepaste afvoernormen en voor zover bekend, de daarbij behorende hoogwaterlijnen aangegeven. Voorts kunnen hierbij de volgende opmerkingen worden gemaakt:

Groningen

In het Westerkwartier (A_2 , 1957) werd slechts één afvoernorm gebruikt, namelijk $1,2 \text{ l/sec.ha}$ bij een drooglegging of HW-lijn van

70 cm-mv.

Voor de ruilverkaveling (=r.v.k.) Zuidpolder (1962) werd een geringe differentiatie toegepast. Voor lage veen- en zandgronden werd 1,67 l per sec. ha aangenomen en voor een klein gedeelte 2,0 l/sec.ha.

Friesland

De r.v.k. Ooststellinwerf (1966) geeft ongeveer een gemiddeld beeld van de in deze provincie toegepaste normen. Hier is differentiatie toegepast naar de hoogteligging (ontwatering) volgens de grondwatertrappen (GT)-kaart van de Stichting voor Bodemkartering. De volgende afvoernormen werden aangenomen bij een drooglegging van 60 cm.

hoge zandgronden (GT VII)	0,5 l/sec.ha
middelhoge gronden (GT V en VI)	0,8 l/sec.ha
hoge veen en lage zandgronden (GT III)	1,0 l/sec.ha
lage veengronden (madeland) (GT II en I)	1,3 l/sec.ha

In enkele gebieden worden voor bemalen gronden of voor gronden waar kwel voorkomt, hogere afvoernormen gehanteerd, zoals 1,5 l per sec.ha in de r.v.k. Jubbega-Schurega (1967) en 2,3 l/sec.ha in Linde-Zuid (1963). De drooglegging in dit laatst genoemde gebied varieert in de zomer bij veengronden van 40 - 50 cm en in zandgronden van 50 - 70 cm. Getracht wordt drooglegging in de winter te vergroten met 30 - 40 cm, dus tot 80 à 110 cm.

Drenthe

Een differentiatie die ongeveer gelijk is aan die welke in Friesland wordt toegepast, treft men ook in Drenthe aan. Zo worden de volgende afvoernormen gehanteerd:

stuifzand, bos en woeste grond	0,4 l/sec.ha
middelhoge grond	0,7 l/sec.ha
lage grond en middelhoge met keileem	1,0 l/sec.ha
madeland	1,2 l/sec.ha

Voor madelanden wordt een diepe drooglegging van 80 à 100 cm gebruikt, omdat men een inklinking verwacht van 30 à 40 cm.

In enkele ruilverkavelingen werd slechts één afvoernorm gehanteerd, zoals in Drijber (1962) 0,7 l/sec.ha, in Borger (1952) 1,0 l/sec.ha en in Peizer-Bunne (1956) 1,2 l/sec.ha. In Peizer-Made (1961) werd echter een grote variatie toegepast en wel 0,3; 0,7; 1,0; 1,2; 1,4 en 1,6 l/sec.ha.

In het algemeen kan worden gezegd, dat de normen in Drenthe iets lager liggen dan die in Friesland.

Overijssel

Van de 19 onderzochte ruilverkavelingen waren er 9 die slechts met één afvoernorm volstonden, namelijk 1,2 l/sec.ha, of een iets lagere. Een vijftal gebruikte 2 normen, namelijk een lage norm variërend van 0,6 tot 0,9 l/sec.ha en een hoge van 1,2 l/sec.ha. In de r.v.k. Beneden Dinkel (1953) gebruikte men twee hoge normen, namelijk 1,5 en 2,0 l/sec.ha in verband met de in Duitsland toegepaste norm van 2,4 l/sec.ha bij WHHW-lijn.

Voor een drietal ruilverkavelingen op lemige gronden werd een grotere differentiatie in de afvoernormen toegepast, te weten Volthe-de Lutte (1967), variërend van 0,8 tot 2 l/sec.ha; Holten-Markelo (1968) van 0,3 tot 2,1 l/sec.ha en Steenwijk-Oost (1965) van 0,6 tot 2 l/sec.ha.

De hoogwaterlijn varieerde van gebied tot gebied van 70 à 80 cm tot 30 à 40 cm beneden maaiveld.

In het waterschap de Regge varieerden voor A₂-werken de afvoernormen met de grootte van het stroomgebied. Was dit groter dan 1500 ha, dan werd de hoofdafwatering berekend met de norm van 0,7 l/sec.ha. Bij kleinere oppervlakten nam de norm toe tot 1,95 l/sec.ha bij een drooglegging van 25 cm.

Gelderland

De normen vastgesteld voor de r.v.k. Rekken (1963), sluiten vrij goed aan bij die van Volthe-de Lutte, Holten-Markelo en bij die van de Regge. De toegepaste normen varieerden van 1,2 tot 2,0 l/sec.ha per klasse met 0,2 l/sec.ha oplopend. Ook voor de verbeteringsplannen bij Winterswijk in het waterschap van de Berkel (A₂) werden hoge normen gehanteerd namelijk 1,4 l/sec.ha voor een gemiddeld eens per jaar voorkomende afvoer of van 2,6 à 2,7 l/sec.ha bij een voorkomen van eens in de 100 jaar. Bij beide werd een drooglegging van 30 cm toegepast. Al deze gebieden hebben dicht onder hun vrij sterk hellend oppervlak slecht doorlatende leem- of kleilagen.

Voor de ruilverkavelingen in de Achterhoek die ook tertiaire gronden omvatten, werd of slechts één enkele afvoernorm toegepast, zoals in de r.v.k. Borculo (1970) (waterschap de Berkel), namelijk 1,2 l/sec.ha, of een minder gedifferentieerde zoals Ziewent-Harreveld (1965), namelijk 1 l/sec.ha voor gronden afwaterend op de Baakse beek, 1,2 l/sec.ha voor op de Berkel lozende gronden en 1,4 l/sec.ha voor tertiaire gronden rondom Lichtevoorde.

In de r.v.k. Aalten (1970), die zowel vlakkere zandgronden als tertiaire gronden omvat, werd op grond van de grondwatertrappenkaart van de Stichting voor Bodemkartering de volgende differentiatie in de normen voorgesteld bij een drooglegging van 60 cm:

- 0,4 l/sec.ha voor een hoge es
- 0,5 l/sec.ha voor een middelhoge es
- 0,6 en 0,7 l/sec.ha voor ontginningsgrond
- 0,8 l/sec.ha voor lage ontginningsgrond
- 1 en 1,2 l/sec.ha voor beekdalen
- 1,3 l/sec.ha voor het natte kwelgebied 'Het Goor'
- 1,5 l/sec.ha voor de westelijke kwelstrook langs de voet van de tertiaire rug Aalten-Groenlo
- 1,8 l/sec.ha voor het Schaarsbeekdal

Voor de r.v.k. Dinxperlo (1970) wordt eveneens bij een drooglegging van 60 cm voorgesteld de norm 0,4 en 0,5 l/sec.ha voor essen te gebruiken en 1 en 1,2 l/sec.ha voor beekdalgronden. In Genderingen (1957) werden bij een drooglegging van 70 cm alle leidingen berekend op een afvoer van 1 l/sec.ha. Voor de r.v.k. Ruurlo (1970) wordt voorgesteld om dezelfde normen te hanteren als in Ziewent-Harreveld en wel voor afstroming naar de Baakse Beek 1 l/sec.ha en voor afstroming naar de Berkel 1,2 l/sec.ha. De afvoer van de boscomplexen wordt op 0,4 l/sec.ha gesteld.

Voor de r.v.k. Bevermeer (1968) in de Lijmers werden vier normen gebruikt en wel 0,5 l/sec.ha voor bossen, 0,8 l/sec.ha voor essen, 1 l/sec.ha voor ontginningsgronden en 1,2 l/sec.ha voor kleigronden. De laatste hebben een drooglegging van 80 cm, terwijl deze voor zandgronden 60 cm bedraagt.

Vele andere ruilverkavelingen gebruiken twee afvoeren. Zo werd in de r.v.k. Hattem-Wezep (1965) 0,3 l/sec.ha toegepast voor gronden met een onzichtbare afwatering en 1,5 l/sec.ha voor de overige gronden. Voor een klein binnenpoldertje in deze ruilverkaveling werden leidingen berekend met een norm van 2,6 l/sec.ha. In de r.v.k. Warnsveld (1960) werd gebruik gemaakt van de norm 0,4 l/sec.ha voor gronden met een onzichtbare afwatering en 1,2 l/sec.ha voor de overige gronden.

Utrecht

In de r.v.k. Heiligerbergerbeek (1968) werd voor de gronden met

onzichtbare afwatering de norm 0,4 l/sec.ha voorgesteld; voor het overgangsgebied naar de lagere gronden de norm 1,0 l/sec.ha en voor de lage gronden de norm 1,5 l/sec.ha, alle bij een drooglegging van 60 cm.

Noord-Brabant

In deze provincie wordt de grootste eenheid in de vaststelling van de normen gevonden die ook hier gebaseerd is op de hoogteligging van de gronden boven het grondwater. De toegepaste normen zijn voor:

hoge bossen en stuifgronden	0,33 l/sec.ha
gronden met weinig sloten	0,67 l/sec.ha
gronden met veel sloten	1,0 l/sec.ha
lage beekdalen en bebouwingen	1,33 l/sec.ha

In de wat oudere r.v.k. Grote Peel (1959) werden de normen van 2/3 en 1 l/sec.ha toegepast en voor de r.v.k. Kleine Aa (1955) alleen de norm van 1 l/sec.ha.

Al deze normen zijn gebaseerd op een gemiddeld eens per jaar voorkomende afvoer. In de meeste gevallen werd een drooglegging van 50 cm gekozen.

Daarnaast werd de norm gehanteerd van de halve maatgevende afvoer bij een drooglegging van 90 - 100 cm. Als argument hiervoor wordt aangevoerd, dat de drainage van het aanliggende land voor het grootste deel van het jaar ongehinderd mogelijk moet zijn.

Limburg

De toegepaste normen in Limburg liggen wat lager dan in Noord-Brabant. Zo werden in het gebied van de Lollebeek (1961), Midden-Limburg (1963) en in Echt (1965) de normen 0,4; 0,7 en 1,0 l/sec.ha gebruikt bij een drooglegging van 50 cm. In het gebied van Neer (1956) was de hoogste norm 0,8 l/sec.ha. In Montfort (1954) werden alle leidingen berekend met 0,8 l/sec.ha en in de Ospelse Peel (1956) met 1,2 l/sec.ha.

In de r.v.k. Bergen (1968) werden de afvoernormen al naar gelang het waterbezwaar vastgesteld en wel:

- voor de onzichtbare afwatering 0,2 l/sec.ha
- voor gronden met tijdelijk wateroverlast 0,4 l/sec.ha
- voor gronden met regelmatige wateroverlast 0,8 l/sec.ha
- voor kwelgebieden 2,0 l/sec.ha

In het Land van Swentibold (1965) werd voor de verbetering van de Vloedgraaf 1,3 l/sec.ha aangenomen en voor de Roode Beek en Geleen Beek 2,0 l/sec.ha, hoewel tot heden de hier hoogst gemeten afvoer 0,85 l/sec.ha bedroeg.

4. Beschouwing van de toegepaste normen

Uit de afvoernormen die in de zandgebieden van Nederland worden gehanteerd, komt duidelijk naar voren, dat men de laaggelegen en natte gronden, welke in de winter weinig of geen bergend vermogen bezitten, met een veel hogere norm belast dan de hoge gronden.

De mate waarin men differentiatie toepast verschilt niet alleen van provincie tot provincie, maar zelfs van plan tot plan. Dit staat mede in verband met lokale omstandigheden.

Gaat men per provincie de gehanteerde differentiatie in de normen na, dan blijkt dat in ^{die} Groningen bijna niet heeft plaats gehad. De toegepaste afvoernorm is hier echter vrij hoog, terwijl de hoogwaterlijn relatief diep wordt gekozen. In Friesland bepaalt men de norm nog al eens uit de grondwatertrappen (GT)-kaart.

In wezen worden in de provincies Drenthe en Noord-Brabant de afvoernormen op vrijwel dezelfde wijze vastgesteld. Hier maakt men geen gebruik van GT-gegevens, doch baseert de normen op de bergingscapaciteit van de grond en op de hoogteligging van de gronden boven de wintergrondwaterstand (COLN-gegevens). Het accent is meer gelegd op het grondgebruik en het globaal vermelden van veel of weinig sloten. In Drenthe valt de vrij diepe ontwatering van de madelanden op. Over het algemeen wordt in Drenthe bij dit soort gronden de hoogwaterlijn, in verband met de te verwachten klink, dieper gekozen dan in Friesland.

In enkele gebieden in Overijselen in Gelderland wordt een zeer grote differentiatie toegepast die gedeeltelijk op de hoogteligging en de grondsoort wordt gebaseerd. Voor hellende, ordiepe gronden met leem worden de afvoernormen extra verzwaard.

In Limburg lijken de normen van de jongste ruilverkavelingen wel enigszins verzwaard, maar de hier toegepaste differentiatie is niet groot.

Een directe vergelijking tussen de toegepaste normen is moeilijk, omdat zowel het aantal klassen als de criteria voor de indeling daarvan verschillen. Toch kan wel een globaal overzicht worden samengesteld. Dit overzicht is weergegeven in tabel 3.

Tabel 3. Globaal overzicht van de toegepaste afvoernormen in
1/sec.ha voor een aantal provincies

	Gr.	Frl.	Dr.	Ov.	Gld.	Utr.	NBr.	Lb.		
1. hoge zandgronden; stuifzand, bos, woeste grond	-	0,5	0,4	0,3	0,4	0,4	0,33	0,4		
2. middelhoge zandgronden; hoog met weinig sloten	-	0,8	0,7	0,6	0,6		0,67			
3. lage gronden; middelhoog met veel sloten; middelhoog met keileem	1,2	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	0,7		
4. beekdalen, madelanden; lage veengronden	-	1,3	> 1,2	> 1,2	1,2	1,5	1,33	1,0		
5. kwelgebieden; bemaling	-	1,5	1,6	-	2,6	-	-	-		
hoogwaterlijn (cm-mv)	{	zand	70	40-70	40	30-40	30-50	60	50	40-50
		beekdal en veengrond	70	25-40	80-100	60-130	60-80	60	50	80-100

Uit deze tabel blijkt, dat niet alleen de toegepaste normen sterk uiteenlopen, doch dat dit in nog grotere mate geldt voor de drooglegging. Aangezien de grootte van een leiding wordt bepaald door de combinatie van afvoer en hoogwaterlijn, kan een deel van de verschillen in de toegepaste afvoernorm worden gecompenseerd door de keuze van de drooglegging.

Voor al in Gelderland en Noord-Brabant werkt men voor de vaststelling van de afvoernorm met afvoerfrequenties. De beken worden berekend op een afvoer, die eens per jaar mag worden verwacht. In Noord-Brabant past men ook nog de halve afvoer toe (15 maal per jaar) bij een lagere hoogwaterlijn.

De oudere gegevens van 1930-1958, verzameld door de Koninklijke Nederlandsche Heidemaatschappij, vertonen eenzelfde, zo niet grotere, differentiatie in de toegepaste afvoernormen.

Om na te gaan of de toegepaste normen in de loop der jaren aan verandering onderhevig zijn geweest, werd in de eerste plaats het aantal toegepaste klassen van afvoernormen van elk project nagegaan.

Rangschikt men nu de gegevens naar het jaar van ontwerp (fig. 1), dan valt op dat vooral in de veertiger jaren een groter aantal klassen werd toegepast. In de vijftiger jaren liep het aantal klassen sterk terug, om omstreeks 1959 à 1960 weer aanzienlijk toe te nemen. Vooral het aantal ontwerpen met één klasse is in het laatst genoemde tijdperk vrijwel verdwenen. Deze ontwerpen met één klasse bestaan grotendeels uit A₂-werken en betreffen meestal een enkel leidingstuk.

Hetzelfde verloop blijkt wanneer het verschil tussen de hoogste en laagste norm in een plan wordt uitgezet tegen het jaar (fig. 2).

Uit beide figuren blijkt wel dat vooral de laatste 10 jaar in vrijwel alle gebieden in ons land een grotere differentiatie in afvoernormen wordt toegepast. Systematische verschillen tussen verschillende gebieden werden niet gevonden. Mochten deze toch aanwezig zijn, dan worden zij zeer waarschijnlijk overschaduwd door de grote verschillen in indeling van de toegepaste afvoerklassen in elke provincie afzonderlijk.

HOOFDSTUK II. TOETSING VAN DE BESTAANDE AFVOERNORMEN AAN DE HAND VAN AFVOERGEGEVENS

1. Achtergronden voor de taxatie van afvoernormen

Uit inventarisatie van de in de zandgebieden gehanteerde afvoernormen blijkt, dat bepaalde gronden in de verschillende provincies en soms binnen een provincie verschillend op hun afvoercapaciteit worden gewaardeerd. Een mogelijke oorzaak voor deze verschillende waarderingsen kan het tijdstip en de toestand van het gebied tijdens de beoordeling zijn (natte of droge winters). Natte winters zoals in 1960, 1961, 1965 en 1966 maken diepe indruk, terwijl wordt vergeeten, dat deze natte perioden met statistisch grote herhalingsstijden optreden.

Een grote neerslaghoeveelheid op zichzelf zegt niet veel. Een zware regenval van 50 mm op een bijna verzadigde grond heeft zeer hoge afvoeren tot gevolg (december 1960 en 1961), maar een even grote neerslag in een droge zomer (juni 1960) heeft bijna geen invloed.

De langdurige regenval in december 1965 en 1966 heeft grote wateroverlast bezorgd. De vrijwel dagelijkse neerslag die op zichzelf niet zo groot was, maar toch groter dan de afvoer, had tot gevolg, dat het grondwater tot dicht aan of tot op het maaiveld steeg, waardoor de bergingscapaciteit sterk werd gereduceerd. Op dat moment was een relatief kleine regenintensiteit voldoende om zeer hoge afvoeren teweeg te brengen.

Bij regen zal het grondwater eerst snel stijgen, doch naarmate het grondwater dichterbij het maaiveld komt, stijgt het steeds langzamer. Dit verschijnsel wordt veroorzaakt door de toenemende afvoer door de bouwvoor (subsurface runoff of interflow) en door de oppervlakte-afvoer (BON, 1967 II). Door deze snelle afvoer loopt het sloot- of beekpeil zeer snel op, zodat het drukhoogteverschil tussen sloot- en grondwater snel afneemt en de grondwaterafvoer wordt afgeremd.

Ook een hoog slootpeil als gevolg van onvoldoende onderhoud of te hoge afvoerbasis zal spoedig tot oppervlakteberging aanleiding geven doordat de bergingscapaciteit in de grond dan onvoldoende is. Dergelijke natte gronden zullen bij de inventarisatie een hoge afvoernorm krijgen, ofschoon ze na verbetering van de ontwatering een lagere afvoer zullen opleveren. Alleen als kwel de oorzaak is van de drassigheid kunnen hoge afvoernormen voor zo'n gebied gegrond zijn.

2. Afvoerberekeningen met in de praktijk gehanteerde normen

Om na te kunnen gaan of de gebruikte afvoernormen overeenkomen met de in de werkelijkheid optredende afvoer, zal men deze aan gemeten afvoeren moeten toetsen. In de Achterhoek zijn enkele hoge afvoeren bekend van juni en december 1965 (BON, 1967 I), terwijl ook de winterwaterstanden en de plaatsen van de vroegere COLN-buizen bekend zijn. Deze gegevens zullen hier voor de toetsing gebruikt worden.

In hoofdstuk I is reeds gebleken dat in de provincies Friesland, Drenthe en Noord-Brabant de afvoernormen min of meer zijn gebaseerd op globale beschrijvingen van de hoogte van het maaiveld boven de gemiddelde winterwaterstand.

In de ruilverkaveling Ooststellingerwerf in Friesland werd de volgende indeling van de normen gehanteerd.

GT VII	- hoge zandgrond	0,5 l/sec.ha
GT VI en V	- middelhoge zandgrond	0,8 l/sec.ha
GT III	- hoge veen en lage zandgrond	1,0 l/sec.ha
GT II en I	- lage veengronden en beekdalen	1,3 l/sec.ha

In Drenthe is de indeling ongeveer als volgt:

bos, stuifzand en woeste grond	0,4 l/sec.ha
middelhoge grond (es)	0,7 l/sec.ha
lage grond en middelhoge met leem	1,0 l/sec.ha
madeland	1,2 l/sec.ha

De zeer uniforme indeling van Noord-Brabant luidt:

gronden zonder sloten	0,33 l/sec.ha
gronden met weinig sloten	0,67 l/sec.ha
gronden met veel sloten	1,00 l/sec.ha
beekdalen en bebouwing	1,33 l/sec.ha

De gegeven indelingen werden wat meer hanteerbaar gemaakt door de toegepaste afvoernormen te interpreteren naar de grondwatertrappen (GT) en de COLN-grondwaterklassen naast elkaar te plaatsen, zodat niet meer wordt gesproken over gronden met veel en weinig sloten en hoge of lage gronden. Op deze wijze werden voor de genoemde provincies gemiddelde C.D.-normen vastgesteld die zijn weergegeven in tabel 4.

Tabel 4. CD-afvoernormen als gemiddelde van de toegepaste normen uit Friesland, Drenthe en Noord-Brabant ingedeeld naar de COLN-grondwaterklassen en grondwatertrappen (GT)

COLN-winterwaterstand cm - mv	GT (Stiboka)	Afvoer l/sec.ha
> 70	VII	0,3
70 - 40	VI	0,7
40 - 20	V, IIIb	1,0
20 - 0	IIIa, II, I	1,2

Van ieder stroomgebied in de Achterhoek (fig. 3) zijn de gemiddelde winterstanden van de COLN-buizen bekend. De buizen zijn ongeveer in een vierkantennet geplaatst met een onderlinge afstand van ca. 1 km. Iedere buis vertegenwoordigt een zeker oppervlak. Voor grotere gebieden komt de spreiding van de buizen redelijk overeen met de oppervlakteverdeling van de door de COLN gehanteerde klassen van grondwaterdiepten.

Per grondwaterklasse werd nu voor elk stroomgebied de oppervlakte vastgesteld en vermenigvuldigd met de bijbehorende afvoernorm. Door sommatie van de afvoeren per grondwaterklasse wordt de totale afvoer op elk meetpunt berekend. Heeft men stroomgebieden waar de ontwatering praktisch in orde is, dan zal er een zeker verband moeten bestaan tussen de berekende en de gemeten afvoer.

Voor inundatie- en wegzijgingsgebieden zullen de berekende afvoeren hoger uitvallen dan de gemeten afvoeren als gevolg van de afvoerreductie door grotere oppervlakteberging en wegzijgingsverliezen. Keileem- en tertiaire gronden, zoals die in het oostelijk deel van de Achterhoek voorkomen en de lössgronden in Limburg met sterke hellingen reageren zeer snel op de neerslag. Voor deze gronden en voor gebieden met kwel zullen de berekende afvoeren lager zijn dan die gemeten worden. De grootte van de kwel laat zich moeilijk taxeren, daar deze afhankelijk is van het hoogteverschil tussen het grondwater in het bovenliggende achterland en die in het kwelgebied. Ook het verhang in die overgangszone en de diepte van de leidingen hebben invloed op de grootte van de kwel.

Na een beekverbetering zal de basis- of grondwaterafvoer onder normale winteromstandigheden kleiner worden dan voor de beekverbetering (BON, 1967, I). Door de diepere en grotere leidingen wordt

de drainage basis verlaagd en het bergend vermogen in de grond verhoogd. Om in een verbeterd gebied het grondwater in de percelen tot dicht bij het maaiveld te doen stijgen, is dan wel meer regenwater nodig dan voorheen. Waren hoge grondwaterstanden voor de verbetering schering en inslag, na de verbetering komen ze slechts met langere herhalingstijden terug. De dan optredende topafvoeren zijn dan onder deze laatste omstandigheden veel groter dan voorheen. Dit wordt veroorzaakt door de veel grotere afvoercapaciteit van de beken, beter slootonderhoud, minder inundatiewater en grotere drukhoogteverschillen tussen het grondwater en het beekpeil.

De grote stroomgebieden in de Achterhoek werden in veel gevallen opgesplitst in sub-stroomgebieden. De resultaten van de afvoerberekeningen met de gemiddelde CD-normen van de sub-stroomgebieden in de Achterhoek van meer dan 500 ha grootte, zijn in fig. 4a uitgezet tegen de afvoeren gemeten op 19 december 1965. De spreiding is vrij groot. Van de omkringde stroomgebieden, waarvan bekend was dat inundatie of wegzijging was opgetreden, blijken zoals te verwachten was, de berekende afvoeren groter te zijn dan de gemeten afvoeren. De punten waarvan de gemeten afvoeren veel groter zijn dan de berekende hebben grotendeels betrekking op stroomgebieden met tertiaire gronden die snel op iedere afzonderlijke bui reageren. Voor deze gronden kan niet met de in tabel 4 vermelde normen worden volstaan.

Worden de hoge juni-afvoeren van 1965 van dezelfde sub-stroomgebieden uitgezet tegen de berekende afvoeren met de gemiddelde normen, dan blijken in veel meer stroomgebieden de berekende afvoeren hoger te zijn dan de gemeten afvoeren (fig. 4b). Dit houdt in dat de werkelijke afvoer in juni lager is dan zou volgen uit de gemiddelde normen. De lagere juni-afvoeren komen dus frequenter voor dan die van de gebruikte normen. Ook nu blijken er een aantal punten te zijn, waarvan de gemeten afvoeren groter zijn dan de berekende. Dit zijn op een enkele na alle gebieden met een tertiaire ondergrond.

Uit de vergelijking van metingen en berekeningen van de afvoeren van zandgebieden in de Achterhoek blijkt wel, dat men een grotere differentiatie in de afvoernormen zou moeten toepassen om berekening en meting met elkaar in overeenstemming te brengen. Vooral de gronden met een ondergrond van tertiaire klei spelen in dit verband een rol. Voor deze gronden zal een norm gekozen moeten worden die verband houdt met de grootte van de frequentie van de regenbui en de neerslagintensiteit. De terreinfiguratie bij deze tertiaire gronden is eveneens van belang. Als

een gebied korte hellingen bezit naast vrij brede en vlakke ruggen en dalen dan zal de afvoernorm weer wat lager kunnen zijn. Mede door de aanwezigheid van deze groep gronden met tertiaire lagen vertonen de gemeten december-afvoeren een zeer grote spreiding in de afvoer en wel van 0,4 tot 2,6 l/sec.ha.

Bij de toepassing van gemiddelde CD-normen komt men maar tot een spreiding van 0,5 tot 1,1 l/sec.ha. De marge bedraagt hier slechts 0,6 l/sec.ha door de aanname van een maximale afvoer van 1,2 l/sec.ha voor de natste gronden, tegen 2,2 l/sec.ha tijdens de waargenomen december-afvoer.

Alvorens over te gaan tot de opstelling van meer gedifferentieerde normen zal eerst nog een nadere vergelijking worden gemaakt tussen de afvoeren in juni 1965 en die van december 1965.

3. Vergelijking van de afvoeren in juni en december

Wanneer de afvoeren in juni 1965 worden vergeleken met die in december 1965 dan zou men a priori hogere afvoeren verwachten in december dan in juni, omdat in laatstgenoemde periode de grond een grotere bergingscapaciteit heeft. Dit geldt ook nog ondanks het feit dat de regens in juni zwaarder zijn geweest dan die in december.

De relatie tussen de afvoeren in juni en december is weergegeven in fig. 5. Daaruit blijkt dat er geen eenvormige evenredigheid bestaat tussen de afvoeren voor de verschillende sub-stroomgebieden in de bedoelde perioden. De punten lijken min of meer gegroepeerd om een drietal lijnen, waarbij de afvoer van december resp. éénmaal, anderhalf maal en twee maal die van juni is. De lijn die een gelijke afvoer in december en juni voorstelt omvat de meeste inundatiegebieden, bestaande uit lage, vlakke zandgebieden waar het grondwater vrij snel het maaiveld bereikt. Verschillen in regenval beïnvloeden voornamelijk de oppervlakte van de gefundeerde grond, maar de afvoer blijft op hetzelfde niveau. Ook de helft van de gronden met een ondergrond van tertiaire klei verschilt in beide perioden niet in afvoerhoeveelheid.

De tweede groep gebieden waarbij de december-afvoer anderhalf maal zo groot is als die in juni, omvat de overige tertiaire gronden. Deze hebben in juni duidelijk een grotere bergingscapaciteit ten gevolge van het voorkomen van grotere oppervlakten vlak terrein. Onder deze groep valt ook het verbeterde stroomgebied van de Meibeek (meetpunt G 8). In de groep waarbij de december-afvoer de dubbele is van

die in juni komen zowel de kwelgebieden voor als de gebieden met wegzijging.

Wat de laatste betreft, geldt dat vooral het verschil in bergingscapaciteit tussen december en juni zeer sterk verschilt. De langdurige regenperiode in december heeft een zo sterke afname van de bergingscapaciteit veroorzaakt, dat de gebieden als volgelopen gebieden zijn gaan reageren en geheel van karakter zijn veranderd.

Uit het voorgaande blijkt wel, dat de Achterhoek uit zeer heterogene, onverbeterde afvoergebieden bestaat, die zeer verschillend reageren op verschillen in neerslag samenhangend met de morfologie, de grondsoort en de hoogteligging ten opzichte van de ontwateringsbasis.

4. Afvoerberekening met gedifferentieerde normen

Uit ervaring of om andere redenen heeft men plaatselijk aangevoeld, dat de indeling van de gronden in 4 afvoerklassen niet altijd voldoende is, en dat een grotere differentiatie gewenst is. In Drenthe heeft men op bescheiden schaal een grotere differentiatie toegepast door voor de middelhoge gronden met leem de afvoernorm te verhogen van 0,7 tot 1,0 l/sec.ha. Voor Noord-Brabant is in de handleiding voor waterbeheersingsobjecten door Visser (1969) een grotere differentiatie voorgesteld, die er als volgt uitziet (tabel 5):

Tabel 5. Voorgestelde afvoernorm voor Noord-Brabant volgens Visser (1969)

1. zeer hooggelegen gebieden (bv. stuifzanden) zonder zichtbare afwatering	q = 0,1	l/sec.ha
2. hooggelegen gebieden zonder sloten (essen)	q = 0,33	"
3. middelhoge gebieden met incidenteel sloten	q = 0,67	"
4. relatief laaggelegen gebieden met een meer regelmatig slotennet	q = 1,00	"
5. laaggelegen gebieden met een intensief net van sloten	q = 1,33	"
6. zeer lage gebieden met kwel	q = 1,5 - 2,0	"

De marge in deze voorgestelde afvoeren bedraagt nu 1,9 l/sec.ha. In vele nieuwere, doch ook in enkele oudere ruilverkavelingen werd een grote differentiatie toegepast 'afhankelijk van grondsoort en helling' (zie tabel 1 en fig. 1).

Om een nauwere relatie te krijgen tussen de berekende en de gemeten afvoeren in de Achterhoek is in het volgende getracht een onderscheid te maken naar de aard van het stroomgebied. De gebieden werden daartoe voorlopig in vijf groepen ingedeeld, die als volgt kunnen worden omschreven:

1. zandgebieden zonder grote oppervlakten afwijkende gronden,
2. zeer fijnzandige, leemhoudende gronden en gebieden met kwel,
3. wegzijgingsgebieden,
4. sterk hellende gebieden (> 20 cm/100 m) met dun zanddek op leem of klei,
5. als 4, doch licht hellend.

Wanneer dan tevens rekening wordt gehouden met de gemiddelde grondwaterstanden in de winter, geeft tabel 6 de geschatte afvoernormen

Tabel 6. Gedifferentieerde afvoernormen (l/sec.ha) naar bodemkundige en morfologische eigenschappen van het stroomgebied

Ge- bieds- groep	Soort gebied	GT COLN	VII	VI	V, IIIb IIIa, II, I		Marge
			winterwaterstand > 70	70-40	40-20	20-0	
1	zand		0,3	0,6	1,0	1,5	1,2
2	leem h, fijnz. kwel		0,3	0,7	1,2	1,8	1,5
3	wegzijging		0,2	0,5	0,8	1,2	1,0
4	sterk hellend met leem		0,5	1,0	2,0	4,0	3,5
5	licht hellend met leem		0,3	0,7	1,2	2,0	1,7

Ieder sub-stroomgebied wordt in zijn geheel ondergebracht in een bepaalde groep, waarna vervolgens de afvoer wordt berekend. Tabel 7 geeft hiervan een overzicht. Hierin zijn ook drie kleine stroomgebieden uit het Leerinkbeek gebied opgenomen, waar door Colenbrander op dezelfde datum de afvoeren werden gemeten.

De afvoerberekeningen met gedifferentieerde normen zijn vervolgens in figuur 6 uitgezet tegen de waargenomen december-afvoeren. Ook in deze figuur blijven bij de door inundatie en wegzijging gekenmerkte gebieden (binnen de gestippelde kring) de berekende afvoeren hoger dan de waargenomen afvoeren.

Tabel 7. Groepsindeling van de gronden en afvoeren voor de afzonderlijke stroomgebieden met de gedifferentieerde normen

Beekgebied	Meet- punt	Groep	Afvoer in l/sec.ha			Ha
			bere- kend	gemeten		
				juni	dec.	
Veengoot	V1	5	1,42	1,63	1,52	520
	V2	2	1,03	0,24	0,78	1670
	V3	3	0,78	0,31	0,61	3120
	V4	1	0,80	0,74	0,81	1730
Baakse Beek	B1	5	1,30	1,36	1,36	1070
	B2	2	1,03	0,57	0,66	2735
	B3	1	1,27	0,79	0,86	1520
	B4	1	1,03	0,62	0,69	2110
Hengelose beken	H1	2	0,75	0,16	0,85	1290
	H2	3	0,50	0,31	0,53	2270
	H4	2	0,88	0,41	0,93	2585
IJssellanden	Y1 ^a	5	0,91	0,92	1,34	1195
	Y2	2	0,68	0,59	0,64	1850
	Y3	1	0,76	0,24	0,73	2460
Keizersbeek	K1	3	0,74	0,22	0,36	2235
	K2	5	1,10	1,10	1,10	1545
	K3	5	1,52	0,98	0,76	1840
Ratumse beek	G2	5	1,50	0,55	1,00	2710
Wehmerbeek	G3	5	1,61	1,01	1,10	1090
Beurserbeek	G4	5	1,52	0,93	1,24	3230
Wissinkbeek	G5	4	2,43	1,96	2,66	870
Meibeek	G8	2	1,31	0,84	1,29	2630
Korenburgerveen	A7	5	1,09	0,96	1,33	830
Schaarsbeek	A3	5	1,05	0,76	0,88	1720
Leerinkbeek	10	4	1,72	1,13	1,88	657
	11	1	0,86	-	0,80	540
	13	4	2,12	1,38	2,13	647

De ingetekende 45°-lijn geeft, met inachtneming van de hierboven genoemde uitzonderingen, een redelijk verband tussen berekende en gemeten afvoeren voor de verschillende sub-stroomgebieden. Dit betekent dat de gebruikte gedifferentieerde normen bij benadering gelijk zijn aan de afvoeren, zoals die in december 1965 voorkwamen en de vraag is dus met welke frequentie deze afvoeren zullen optreden. Onder paragraaf 7 wordt hierop nader ingegaan.

5. Afvoerverandering na beekverbetering

Bij de gedifferentieerde afvoerberekening is voor de stroomgebieden, waar een grote mate van inundatie voorkwam, uitgegaan van de veronderstelling, dat de huidige oppervlakteverdeling van de grondwaterklassen dezelfde zou blijven. In de voor de verbetering vrij regelmatig drassige gronden zal na de verbetering de gemiddelde grondwaterstand dalen. De grootste daling zal in de natste gronden optreden, omdat daar de nieuwe leidingen worden gegraven. Ook de aangrenzende hogere gronden zullen door de verbetering een grondwaterstands daling ondergaan, doch in geringere mate.

Hoe vlakker een verbeterd gebied is, des te grotere oppervlakten ondervinden invloed van de peilverlaging in de leidingen. In hellende zandgebieden zal de grondwaterstands daling zich minder ver uitstrekken.

In normale winters zullen na de beekverbetering de gemiddelde grondwaterstanden van de klasse 0-20 cm bijna niet meer voorkomen. Slechts bij zware regens zullen in de gronden, die voor de verbetering regelmatig een grondwaterstand van 0-20 cm hadden, dan ook voor een groot oppervlak deze hoge standen toch weer worden bereikt. De rest van de verbeterde lage gronden behouden een grondwaterstand van 20-40 cm. Op dezelfde wijze zal ook een deel van de gronden, welke voor de verbetering in de grondwaterklasse van 20-40 cm behoorden, na de verbetering doorschuiven in de klasse 40-70 cm. Verdere verschuivingen die invloed hebben op de afvoeren zullen zich praktisch niet voordoen.

Van de mate van de beekpeilverlaging en de morfologie van het terrein hangt het af, of er een grote of kleine invloed van de ontwatering en op de afvoer zal plaatsvinden. Door het grotendeels verdwijnen van de inundaties zullen door de snelle afvoermogelijkheid de afvoertoppen hoger worden dan voor de verbetering.

Wordt het grondwaterpeil door de hoofdleidingen en door de interne ontwatering sterk verlaagd, dan zou de afvoer door de grotere berging die in plaats van op het land, nu in de grond aanwezig is, ongeveer gelijk kunnen blijven aan die van voor de verbetering.

In de stroomgebieden V2, B2, B3, B4 en A3, aangegeven in fig. 6, zullen na beekverbeteringen dalingen van de grondwaterstanden optreden. Van de gebieden V2, B2, B3 en A3 wordt verwacht, dat de helft van de thans ingenomen oppervlakte met de grondwaterklasse 0-20 cm overgaat naar de klasse 20-40 cm. Van deze laatste klasse zou ongeveer een kwart overgaan naar de klasse 40-70 cm. Van het stroomgebied B4 mag worden aangenomen, dat de verschuivingen respectievelijk driekwart en de helft zou worden. Op grond van deze veronderstelling kan opnieuw een verdeling in grondwaterklassen worden opgesteld. Met de bij elke grondwaterklasse behorende afvoernorm berekent men op eerder vermelde wijze de na verbetering te verwachten afvoer. Deze is in tabel 8 en in fig. 6a weergegeven.

Tabel 8. De te verwachten afvoer (l/sec.ha) uit inundatiegebieden na beekverbetering

Stroom- gebied	Ha	Groep	Gemeten dec. '65	Volgens tabel 7	Na daling grondw. st.	Toename % t. o. v. dec. '65
V2	1670	2	0,78	1,03	0,93	19,3
B2	2735	2	0,66	1,03	0,83	25,7
B3	1520	1	0,86	1,27	1,08	25,6
B4	2075	1	0,69	1,03	0,83	20,3
A3	1720	5	0,88	1,05	0,97	10,3

Uit tabel 8 blijkt dat door de verschuiving van de oppervlakten in de diverse grondwaterklassen, de afvoeren na de verbetering groter worden dan in december 1965 werden gemeten, doch lager blijven dan volgens tabel 7 werden berekend. Afhankelijk van de morfologie van het gebied zullen de toenames na verbetering sterk variëren ten opzichte van de thans gemeten afvoeren.

6. Het verband tussen de oppervlakte en de afvoer van stroomgebieden

Door sommige waterschappen worden afvoerberekeningen gemaakt, waarbij wordt uitgegaan van een bepaalde reductiefactor bij toename van

de oppervlakte. Dit verschijnsel zal goed tot uiting komen wanneer de deelgebieden dezelfde verhouding van de oppervlakten in de grondwaterklassen hebben als het totale stroomgebied. Bovendien is in grotere stroomgebieden de kans kleiner, dat er regen gelijkmatig en in dezelfde tijd valt. Hierdoor wordt de afvoernorm van een groot gebied lager dan van een klein gebied. Ook door de grotere lengte en bergend vermogen van het grotere leidingstelsel wordt een lagere afvoernorm verkregen dan uit een klein gebied. Wanneer in de onderdelen van een groot stroomgebied de oppervlakte-verhoudingen in de grondwaterklassen (d.w.z. het bergend vermogen) verschillen, of plaatselijk kwel of wegzijging optreedt, dan variëren de afvoernormen sterk.

Wanneer de december-afvoeren van de sub-stroomgebieden worden uitgezet tegen de bijbehorende oppervlakten, zoals in fig. 7a, dan geeft de rangschikking van de punten de indruk alsof er drie groepen zijn. Iedere groep vertoont wel een afname van de afvoernorm bij de toename van de gebiedsgrootte. De gebieden met een hogere afvoernorm dan $1,0 \text{ l/sec. ha}$ liggen alle op de hellende tertiaire gronden, met uitzondering van een gebied met sterke kwel bij Hummelo (meetpunt Y1a) en het verbeterde vlakke gebied van de Meibeek (G8). De bovenste groep reageert zeer snel op de neerslag, de middelste groep omvat grote oppervlakten natte gronden en reageert matig snel. De laatste groep heeft veel meer diep ontwaterde gronden of er treedt wegzijging op.

Worden dezelfde oppervlakten uitgezet tegen de berekende gedifferentieerde normen, dan wordt in fig. 7b ongeveer hetzelfde beeld verkregen als in fig. 7a. Al deze stroomgebieden zijn kleiner dan 3000 ha met uitzondering van G4 (Beurserbeek) en V3 (Veen-goot). Voor grotere stroomgebieden, die worden verkregen door samenvoeging van kleinere, kan men wel een afvoer berekenen met gedifferentieerde normen, doch de uitkomsten zullen minder betrouwbaar zijn, om redenen die in het begin van deze paragraaf zijn vermeld.

Twee evengrote stroomgebieden kunnen wel dezelfde afvoernorm opleveren, zonder dat de gebieden gelijk zijn. Berekent men voor de som van de gebieden de afvoernorm, dan is deze niet gelijk aan de gemiddelde norm van de twee gebieden. Gesteld dat het ene gebied is opgebouwd uit deelgebieden (oppervlakten grondwaterklassen) 0 met een afvoernorm q en het andere gebied met deelge-

bieden 0' met een norm q', dan geldt voor het eerste gebied, dat de gemiddelde norm is:

$$\bar{q} = \frac{q_0}{0} \quad \text{en voor het andere gebied}$$

$$\bar{q} = \frac{q'_0}{0'}. \quad \text{De gemiddelde afvoer van de twee gebieden tezamen zou zijn:}$$

$$\bar{Q} = \frac{\sum (q_0 + q'_0)}{\sum (0 + 0')} < \frac{\frac{\sum q_0}{\sum 0} + \frac{\sum q'_0}{\sum 0'}}{2}$$

Doordat grote stroomgebieden zijn opgebouwd uit heterogene componenten met verschillen in grondsoort, helling, kwel, enz. is het moeilijk te schatten welke gewichten aan de componenten moeten worden toegeschreven. Niet alleen de onderlinge beïnvloeding van de componenten, ook de neerslagverdeling en de openwaterberging in een groot leidingnet, zullen de oorzaak zijn dat de sommatie van de geschatte afvoeren per grondwaterklasse op de samengevoegde stroomgebieden hoger zullen zijn dan die worden gemeten.

Een voorbeeld van een dergelijke schatting van samengevoegde stroomgebieden wordt weergegeven in fig. 8a, waar voor ieder meetpunt de gedifferentieerd berekende afvoer van het boven het meetpunt gelegen oppervlak is uitgezet tegen de gemeten afvoer in december. Door deze samenvoeging van heterogene gebieden treedt een zekere mate van nivellering in de afvoer op, waardoor de spreiding van de punten gering is. De punten blijken nu om een lijn te zijn gegroepeerd die een hoek met de x-as maakt met een tg van 1,28, terwijl bij de afzonderlijke kleine stroomgebieden de punten om de 45° liggen. De berekende uitkomsten liggen nu te hoog, hetgeen voor de berekening van de afmetingen van de beek aan het lozingspunt van belang kan zijn. De berekende waarden moeten gereduceerd worden met een factor 0,78.

Worden deze (te hoge) berekende afvoeren tegen hun oppervlakten uitgezet, dan blijken zich twee groepen te vormen (fig. 8b). De bovenste groep laat een zwakke afname van de afvoer zien bij toename van de oppervlakte. De onderste groep met veel diep ontwaterde gronden geeft geen aanwijsbare afvoerafname te zien.

Worden de gemeten december-afvoeren tegen de oppervlakten uitgezet, weergegeven in fig. 8c, dan blijken door de veel lagere afvoeren de verschillen tussen de dieper en minder diep ontwaterde gebieden vrijwel weg te vallen. Een duidelijke afvoerafname bij toenemende

oppervlakte komt in deze figuur niet tot uiting door de nivellerende werking van inundatie, kwel en wegzijgingsgebieden.

7. De frequentie van de afvoernorm

De door de Cultuurtechnische Dienst gekozen normen worden verondersteld éénmaal per jaar te worden bereikt of overschreden. Zo ook de gemiddelde norm uit de provincies Friesland, Drenthe en Noord-Brabant, vermeld in tabel 4. Indien de afvoeren van december 1965 zouden overeenkomen met een afvoer die éénmaal per jaar mag worden verwacht, dan zouden de punten uit fig. 4a, met uitzondering van de gefundeerde en wegzijgingsgebieden, om een 45° -lijn moeten liggen. De spreiding is echter zeer groot en de marge in de afvoer met de CD-norm berekend zo klein, dat geen redelijk verband is op te maken.

Om na te gaan met welke frequentie van voorkomen de gedifferentieerde normen zijn, is gebruik gemaakt van frequentieverdelingen van de afvoer van de Baakse beek, gemaakt van het meetpunt de Wierse op 500 m afstand van het meetpunt B4. Deze frequentieverdeling werd gemaakt door de Provinciale Waterstaat Gelderland. Hoewel het hier gaat om de afvoer van het totale bovenstroomse gebied, mag worden verondersteld, dat het voorkomen van deze afvoer, gezien de zeer grote neerslag in december 1965, ongeveer met dezelfde frequentie voorkomt als van het sub-stroomgebied B4. De frequentieverdeling is aangegeven in fig. 9. Uit deze figuur blijkt de decemberafvoer bij de gestreepte afbuigende lijn te liggen en éénmaal in de drie jaar te kunnen optreden. De afvoerverhouding bij deze gestippelde lijn betreffende de afvoer van één maal, 10 maal en 100 maal per jaar is als $1 : 1,2 : 1,3$. Deze afvoerverhouding bij de geëxtrapoleerde lijn is als $1 : 1,5 : 1,9$. De grootte van de afvoer van december 1965 is ongeveer gelijk aan het voorkomen van een geëxtrapoleerde afvoer van één maal per jaar. De vermoedelijke afvoerfrequentie zal dus liggen tussen een voorkomen van éénmaal per jaar en éénmaal per 3 jaar, dus ook van de decemberafvoeren van de andere meetpunten.

De berekende afvoeren volgens de gedifferentieerde norm blijken vrij redelijk met de decemberafvoer overeen te komen. Vergelijking met de CD-normen, zoals in fig. 4a, geeft aan, dat voor de middengroepen de verschillen niet groot zijn. De grotere differentiatie zoals die ook reeds door Visser werd voorgesteld, werd wat verder

uitgewerkt voor de hellende tertiaire gronden en naar het voorkomen van lemig zand, kwel en wegzijging.

Voor de hellende tertiaire gronden blijkt de keuze voor één enkele gebiedsgroep niet voldoende te zijn voor de afvoerberekening. Door de heterogeniteit van deze gebieden in dunne en dikke afdekkende zandpakketten dienen meerdere groepen voor één stroomgebied te worden gehanteerd.

Aangezien is gebleken dat het gedrag van de afvoeren op de diverse meetpunten niet gelijk is bij een afvoertoename (zie fig. 5), is de vuistregel, dat de afvoerverhouding bij frequenties van eens per jaar, per 10 jaar en per 100 jaar zich verhouden als 1 : 1,5 : 2 in de praktijk niet haalbaar. Voor de kleine afvoergebieden in de Achterhoek is deze verhouding ook niet constant. Slechts wanneer het afvoersysteem sterk is uitgebouwd en ook drainage is toegepast, zodat bij zeer zware regens geen plas meer op het land ontstaat, dan zou de genoemde verhouding kunnen worden benaderd. Deze uitbouw zou onbetaalbaar worden, gezien het zeer geringe risico van voorkomen. Bovendien houden vlakke gebieden ook na verbetering een grotere reductie op de afvoer dan lemige en hellende gronden.

Wanneer de afvoeren van enkele geregistreeerde meetpunten uit de Achterhoek tegen die van meetpunt V4 bij Vorden worden uitgezet, krijgt men een diagram van de afvoerverhoudingen zoals in fig. 10. Hieruit blijkt het verschillende gedrag van de stroomgebieden. De inonderende gebieden B2, V2 en V3 vertonen een kromme lijn, waar bij grotere afvoeren de afvoertoename relatief afneemt ten opzichte van die op meetpunt V4. Andere stroomgebieden geven daarentegen een versnelde afvoertoename te zien. Zo zal bij een verdubbeling van de afvoer van het meetpunt V4, de afvoer van A5 bijna verdrievoudigen (BON, 1968).

Voor de uitbouw van nieuwe leidingen wordt naast de afvoernorm ook met een zekere drooglegging gewerkt. Deze drooglegging wordt veelal als standaardmaat gehanteerd voor bepaalde gronden. Hoewel de drooglegging wordt beschouwd als een drainagecriterium, geldt dit wel voor polders doch niet in transportleidingen in de zandgebieden. Bij regenafvoeren bestaat geen verband tussen het beekpeil en de grondwaterstand (BON, 1967 II). Met de diepte van de drooglegging kan de overschrijding van de HW-lijn worden opgevangen. Bij een afvoer van eens per 10 jaar mag het peil in de leiding dan tot aan de insteek stijgen. Algemeen

wordt aangenomen, dat de afvoer dan het dubbele is van de eens per jaar optredende afvoer. Afhankelijk van de breedte - diepte verhouding van de leiding en de taludhelling zal bij verdubbeling van de afvoer het waterpeil al of niet tot de insteek stijgen (WESSELING, 1966)

Deze opmerkingen geven aan, dat voor de uitbouw van nieuwe leidingen een afvoeronderzoek vooraf dient plaats te vinden, daar niet kan worden aangenomen, dat bij een frequentie van de afvoer van eens per 10 jaar steeds overal een verdubbeling van de afvoer optreedt in vergelijking met een afvoer van eens per jaar.

Conclusies en samenvatting

Door de toenemende eisen die de landbouw aan de ontwatering stelt heeft in de loop der jaren de vergroting en verdieping van de beken plaatsgevonden. Een juiste taxatie van de afvoer is een van de moeilijkste punten voor de beekverbetering. Afhankelijk van het te verbeteren gebied wordt soms slechts met een enkele afvoernorm gewerkt, soms met meerdere.

Naarmate na 1945 meer onderzoek werd verricht, werden de afvoernormen meer aan de bergingscapaciteit aangepast en werden in vele provincies ongeveer dezelfde normen gehanteerd, zonder dat deze op hun waarde in de praktijk werden getoetst. Nieuwere methoden van afvoeranalyse gaven wat meer spreiding in de afvoernorm, doch worden veelal gemaakt voor een groot gebied, omdat bij het lozingspunt de registratie-apparatuur is opgesteld.

Doordat in de Achterhoek afvoergegevens bekend waren, werd de gebruikelijke afvoertaxatie naar ontwateringsdiepte daar toegepast. Gebleken is dat in dit zeer heterogene gebied een grotere differentiatie van de normen naar de aard van het gebied noodzakelijk werd geacht om enigszins een aansluiting te krijgen tussen de werkelijk gemeten afvoeren en de berekende afvoeren, op grond van de winterontwateringsdiepte van de COLN-klassen of GT-kaarten.

Om de toekomstige afvoer van thans inunderende gebieden te kunnen benaderen, zal een herberekening met de te verwachten diepere grondwaterstanden moeten plaatsvinden. Deze te verwachten afvoernormen zal dan lager zijn dan werd berekend naar de oude drassige toestand doch hoger zijn dan wat er thans uit het geïnundeerde gebied stroomt.

Daar hellende gronden met op geringe diepte bijna ondoorlatende lagen sterk reageren op de hoeveelheid neerslag en op de neerslag-

intensiteit, zullen beekverbeteringen in dergelijke gebieden weinig tot de ontwatering bijdragen. De afvoeren zullen dan over het algemeen niet sterk toenemen. Deze wijze van afvoertaxatie met behulp van COLN-grondwaterstandsgegevens is bijna niet mogelijk voor gebieden die kleiner zijn dan 500 ha, in verband met het gering aantal buizen. Voor gebieden groter dan 3000 ha zal men bij eenzelfde werkwijze een reductiefactor van ongeveer 0,78 op de berekende afvoernormen moeten toepassen. Bij grote oppervlakten is namelijk de neerslagverdeling anders dan bij kleinere gebieden. Ook de grotere openwaterberging door de grote lengte van de leidingen werkt een afvoerreductie in de hand.

Om tot een juistere benadering te komen van de afvoeren uit wegzijgings- en kwelgebieden en van hellende gronden met ondiep gelegen klei- of leemlagen, dient een uitgebreider onderzoek plaats te vinden. Gelukkig beslaan deze gronden in ons land geen grote oppervlakten.

Het blijven meten van afvoeren in verbeterde gebieden zal gegevens opleveren die een steun zijn voor latere taxaties.

- I. WERKGROEP AFVLOEIINGSFACTOREN, 1963. Interimrapport Kon.Inst.van Ingenieurs en Kon.Genootsch.v. Land. Wetensch.
- WERKGROEP AFVLOEIINGSFACTOREN, 1970. Tweede interimrapport. Kon.Inst.van Ingenieurs en Kon.Genootsch.v. Landb. Wetensch.
- WERKGROEP WATERLOPEN, 1958. Richtlijnen voor het ontwerpen van open waterlopen en sommige bijbehorende kunstwerken. Van Gorcum, Assen.
- WERKGROEP ONTWERPTECHNIEK IN DE WATERHUISHOUDING, 1967. ICW
- II. BON, J., 1967 I. Hoge beekafvoeren in de Achterhoek. Waterschapsbel. 52, 11 pp. 157-166. Verspr. Overdr.ICW 46.
- , 1967 II. Afvoer en berging in verband met beekverbeteringen, toegelicht aan het stroomgebied van de Lunterse beek. V.L.O. 701, Pudoc, Wageningen. Meded.ICW 107, 1968.
- , 1968. Gebruik van afvoerverhoudingen bij het bepalen van de maatgevende afvoer in grote stroomgebieden. Waterschapsbel. 53, 3 pp 1-8. Verspr.Overdr.ICW 63.
- REUTER, K.N. en J.J. KOUWE, 1958. De landbouwwaterhuishouding in de provincie Gelderland. Com.Onderz.Landbouwwaterhuishouding Nederland TNO.
- VISSER, D., 1969. Provinciale handleiding voor waterbeheersingsobjecten. Rapport nr. 69-39. Cult.techn.Dienst.
- WESSELING, J., 1966. De betekenis van de hoogwaterlijn bij beekverbeteringen. Nota ICW 334.

Tabel 1. Inventarisatie afvoercoëfficiënten en HW -lijnen in een aantal ruilverkavelingen op zandgrond

No.	Jaar	Gebied	Maatgevende afvoer l/sec.ha																Opmerkingen																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
			0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7		1.8	1.9	2.0	>2.0	25	30	40	50	60	70	80	90	100	>100																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Groningen																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
1	2223	1962	Zuidoostpolder																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														

Tabel 1. (vervolg)

No.	Ha	Jaar plan of stemming	Gebied	Mattegevende afvoer l/veer ha																			Opmerkingen										
				0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0		>2.0	25	30	40	50	60	70	80	90	100
<u>Overijssel</u>																																	
17	3100	1965	Steenwijk-Oost					¹ x				² x			³ x				⁴ x				⁴ x	¹ x	^{2,3} x				³ x			1) hoge z. gr. + bos 2) veengr. + zanden 3) bem. gr. met 1 & 2 mm kveel 4) leessgr.	
36	4630	1960	Schuijnslot- Lutterscheiding							¹ x		² x												¹ x								1) zandgr. 2) hoogveen ontw. 80 cm laagveen ontw. 60 cm	
37	630	1963	Anerveen					¹ x																									1) hoge op 2) grasl 3) bouwland
38	860	1955	De Meene																														120- 130 ³ Vechtgronden(veen, zand, leem)
39	680	1953	Sohansvetering							¹ x																							1) gebaseerd op cap. grondduiker
40	584	1956	Heemerveen																														dalgrond
41	7950	1964	Hardenberg Oost																														1) grasl >40 2) bouw. >80
42	5247	1960	Vroomshoop																														droogl. >40
49	7000	1966	Daarle- Hollendoorn																														zand en veen
50	4400	1954	Vrieseveen																														ondiep leem
51	11500	1963	Tubbergen																														1) gfaal. >40 2) bouw. >80
52	2876	1960	Wierden																														1) afh. van grondsoort en helling 2) zandgr. 3) veen
58	12280	1968	Rolten-Markelo x																														1) >1000 ha 2) tot 1000 ha
59	2691	1962	Brammelo- Rietmolen										¹ x	² x																			Vechtgronden(zand, veen, leem)
66	3100	1957	Dalfsen																														droogl. >50 kveel uit es op leem- gr. tert. gr.
53	2100	1967	Agelo-Reutum																														1) i. v. m. WHW afvoer 2 & 2) >50
54	5200	1953	Beneden Dinkel																														1) afh. van grondsoort en helling
55	2929	1960	Denekampseveld																														
56	7900	1967	Volthe-Lutte																														
<u>Gelderland</u>																																	
47	3100	1965	Hatten-Wesep																														1) onzichtbare afw. 2) overige gr.
48	5220	1967	Heerde																														3) binnenpolder
60	8660	1960	Warmsveld																														1) voor kleigr.
61	1178	1959	Gortenoever																														1) onzichtb. afw. 2) zichtb. afw.
62	5400	1972	Steenderen																														1) nog in voorbereiding. alle afvoeren nog niet bekend

Tabel 1. (vervolg 2)

No.	Jaar plan of stemming	Gebied	Maatgevende afvoer l/seo, ha																				Opmerkingen										
			0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	>2.0		25	30	40	50	60	70	80	90	100	>100
<u>Gelderland</u>																																	
63	5000	1971																															1)als vorige (no. 62)
64	7	1970																															1)bos 2)op Baakse beek 3)op Berkel
65	3700	1963																															1)afh. v. terrein oplopend met 0.2 l/s, ha 2)<0,5 ha
66	5341	1965																															1)op Baakse beek 2)op Berkel 3)bij Lichtenvoorde
67	8270	1968																															1)bos 2)es 3)ontg. gr. 4)kief 5)sand
68	7088	1957																															1)es 0.4-0.5 2)beekdalgr. 1.0-1.1
69	2400	1970																															1)afh. v. helling grondsoort kwel
70	8230	1970																															
<u>Utrecht</u>																																	
71	5600	1968																															1)onsichtb. afw. 2)weinig sloten langs utr. rug 3)rest
<u>Noord-Brabant</u>																																	
78	5110	1965																															1)bij 10 HW 30-100
82	4350	1963																															1)bos en es 2)ontginning 3)beekdal 4)bebouwing 5)als 78
83	4950	1963																															1)als bij 82 2)als bij 78
86	5929	1963																															1)als bij 82 2)bij 10 HW 90
87	3750	1966																															1)als bij 82 2)als bij 78
88	5100	1966																															1)als bij 82 2)als bij 78
89	2796	1962																															1)als bij 82 2)als bij 78
91	4200	1965																															1)als bij 82 2)graaal. 3)bouw.
97	490	1963																															1)als bij 82 2)als bij 78
98	860	1959																															1)als bij 82 2)als bij 78
100	2020	1965																															1)bij 10 HW 90
103	1400	1955																															1)als bij 82 2)>30 bij 10 HW 80-100
105	1560	1968																															1)>30
104	7830	1962																															1)als bij 82 2)bij 10 HW 90
108	5855	1968																															1)als bij 82 2)als bij 78

Tabel 2. (vervolg)

No.	Jaar	Gebied	Maatgevende afvoer l/sec.ha	Drooglegging in cm-av	Opmerkingen
			0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0 1.1 1.2 1.3 1.4 1.5 1.6 1.7 1.8 1.9 2.0 >2.0	25 30 40 50 60 70 80 90 100 >100	
<u>Gelderland</u>					
18	1962	Polderdistr. Veluwe	x		
20	1962	Polderdistr. Brunnen Voorst	x ¹	x ² x ³	1) Indirecte afv. 2) Lage gr. + weinig hoge gr. 3) Lage gr. 4) Lage gr. lange kanaal (kweel)
28	1955	Watersch. Edo-Wageningen	x		
24	1959	Schipbeek	x		1) Lage stukken bij Dorthse beek
21		Watersch. Berkel	x ¹ x ¹ x	2.6 ¹ 2.6 ¹ x	1) Jaarlijks 1.4 l/sec.ha ' 1 x 100 jr 2.6 & 2.7 l/sec.ha verbeteringen plan bij Winterswijk
29	1962	Rijk v. Nijmegen	x ¹	x ²	1) Hoog bos + heide 2) Overige gronden 3) Kweel langs Kan.Tearse sluispolder
<u>Noord-Brabant</u>					
30	1959	Vouwe gronden	x		
31	1964	Aa of Veerijls	x	x ¹ x ²	1) Grasl. 40-50 cm 2) Bouwl. 50-70 cm
32	1968	Beneden Donge	x		
33	1959	Zandlaaf	x		
35	1962-'68	Watersch. De Donnel	x ¹ x ² x ³	x ³ x ⁴	1) Voorste stroom 0.85 de Reen 0.9 2) Eascher loop 0.9-1.0 l/sec.ha
36	1962-'66	Watersch. v.d. Aa	x ¹ x ² x ³	x ³ x ⁴	1) Oude loop (Wijst bij Milheze) 2) Grote watering (Rosmalen) en Bieze loop 3) Schelise Aa Oude Aa en r.v.k. Donkervoort
<u>Limburch</u>					
37	1962	Tungelroyse beek	x ¹ x ² x ³	x ⁵	1) Hoge gr. 2) Hoge ontg. 3) m.h. ontg. gr. 4) Lage gr. 5) zeer lage gr. 6) Grasl 7) bouw. bij 70% HW 90 maatg.afv. 1 x jr
38	1958	Rijnbeek	x ¹	x ²	1) Ontg.afv. 2) zichtb.afv.

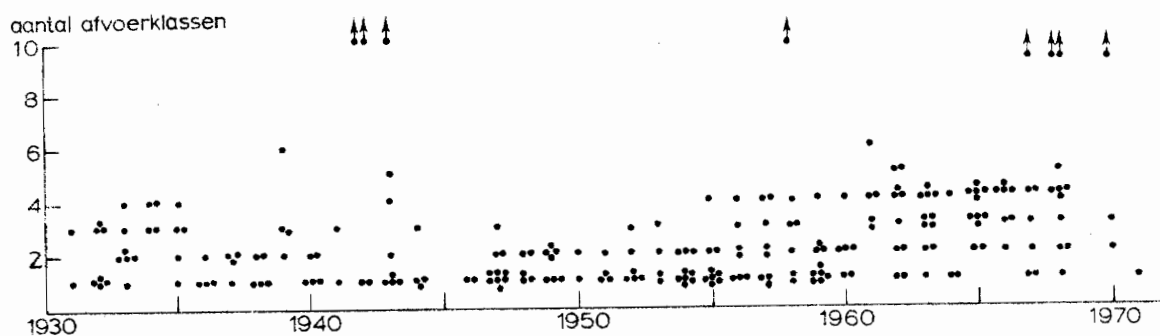


Fig. 1. Overzicht van de toegepaste afvoerclassen in de loop der jaren

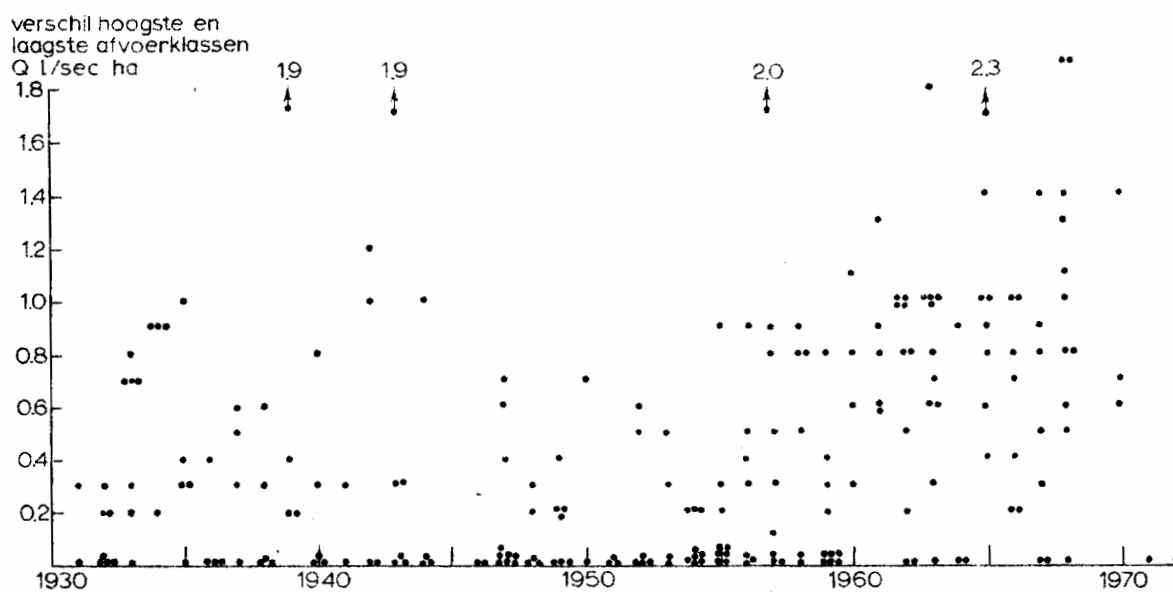


Fig. 2. Het verschil in grootte tussen de hoogste en laagste toegepaste afvoerklasse in de loop der jaren

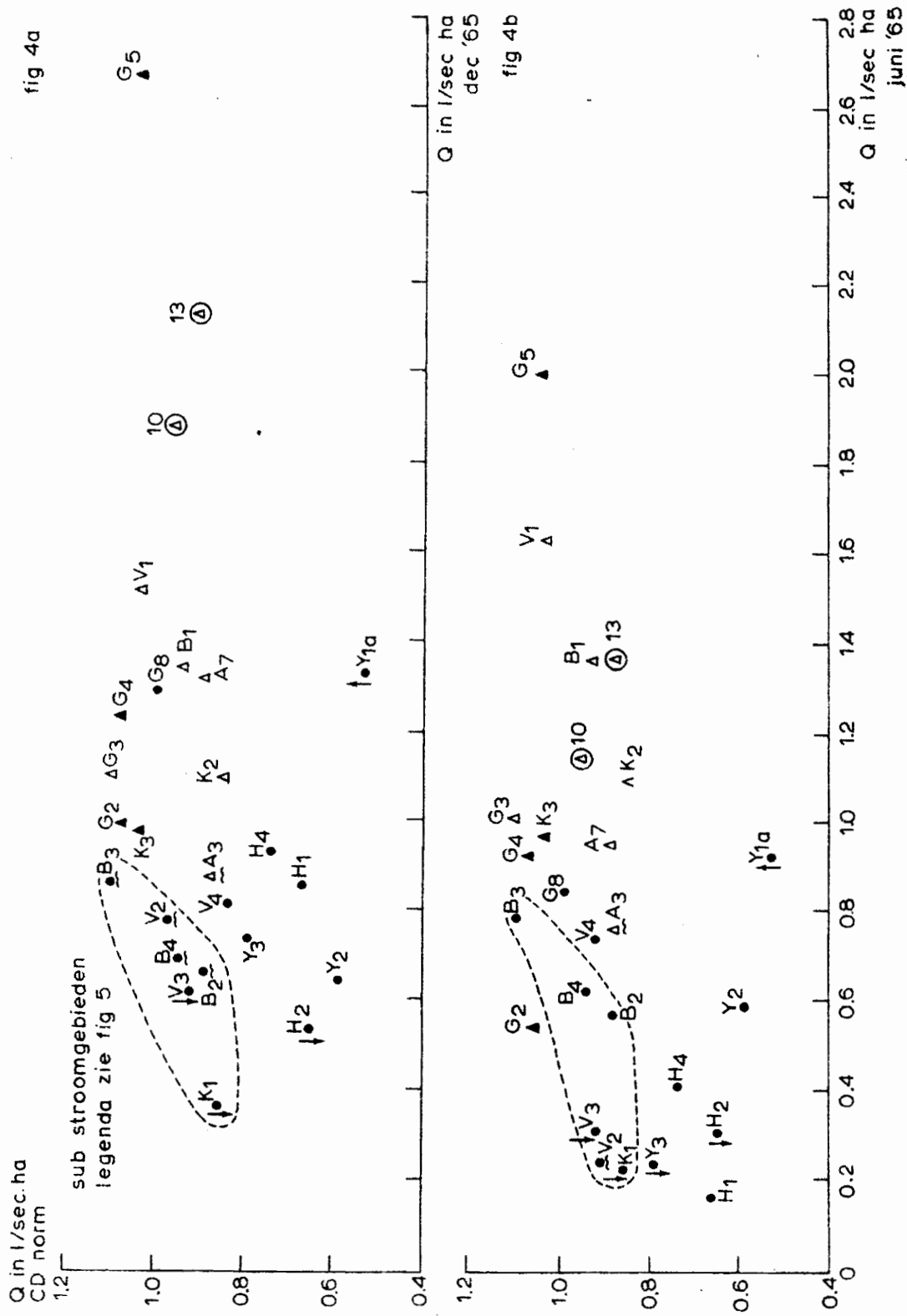
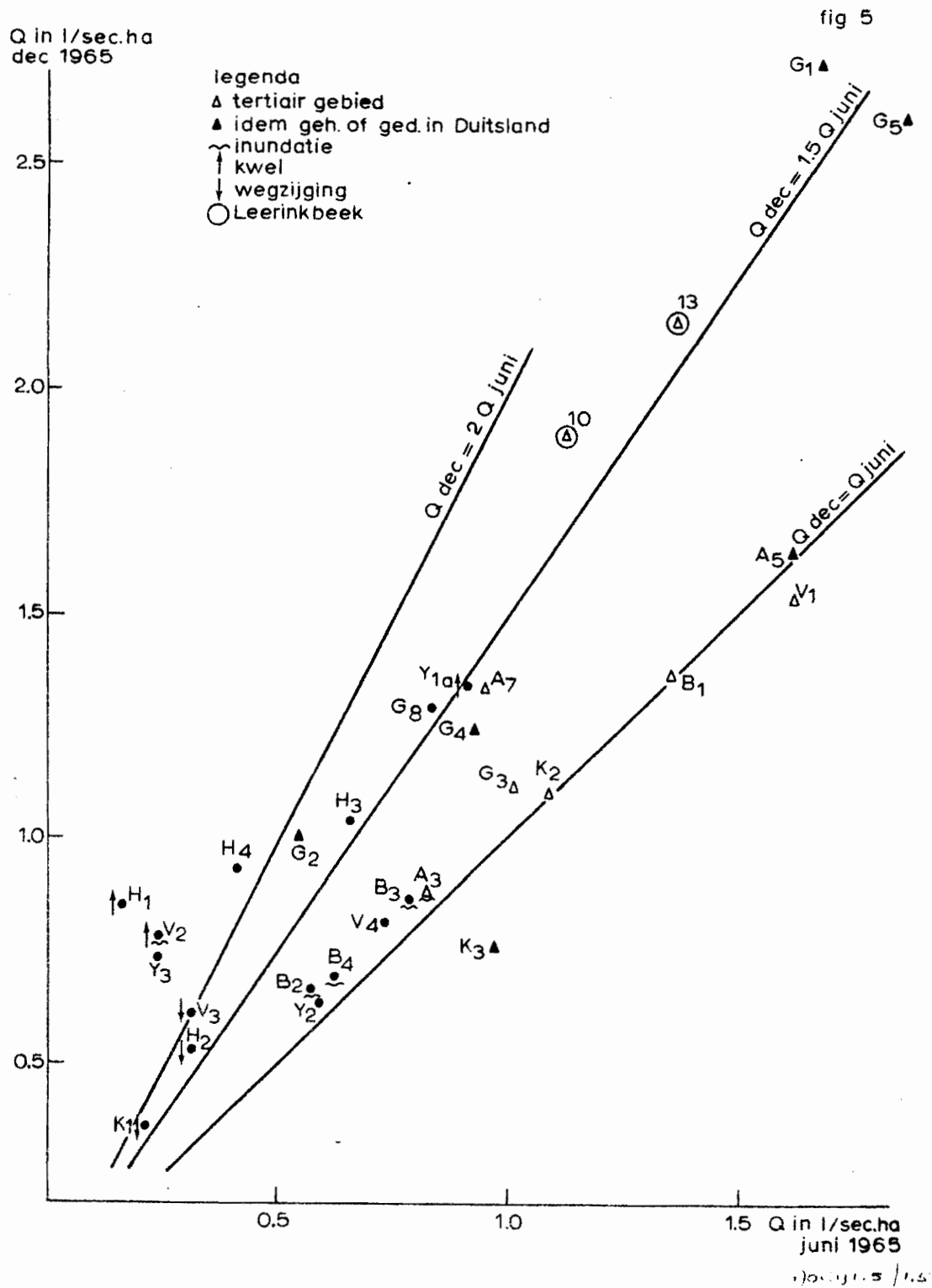
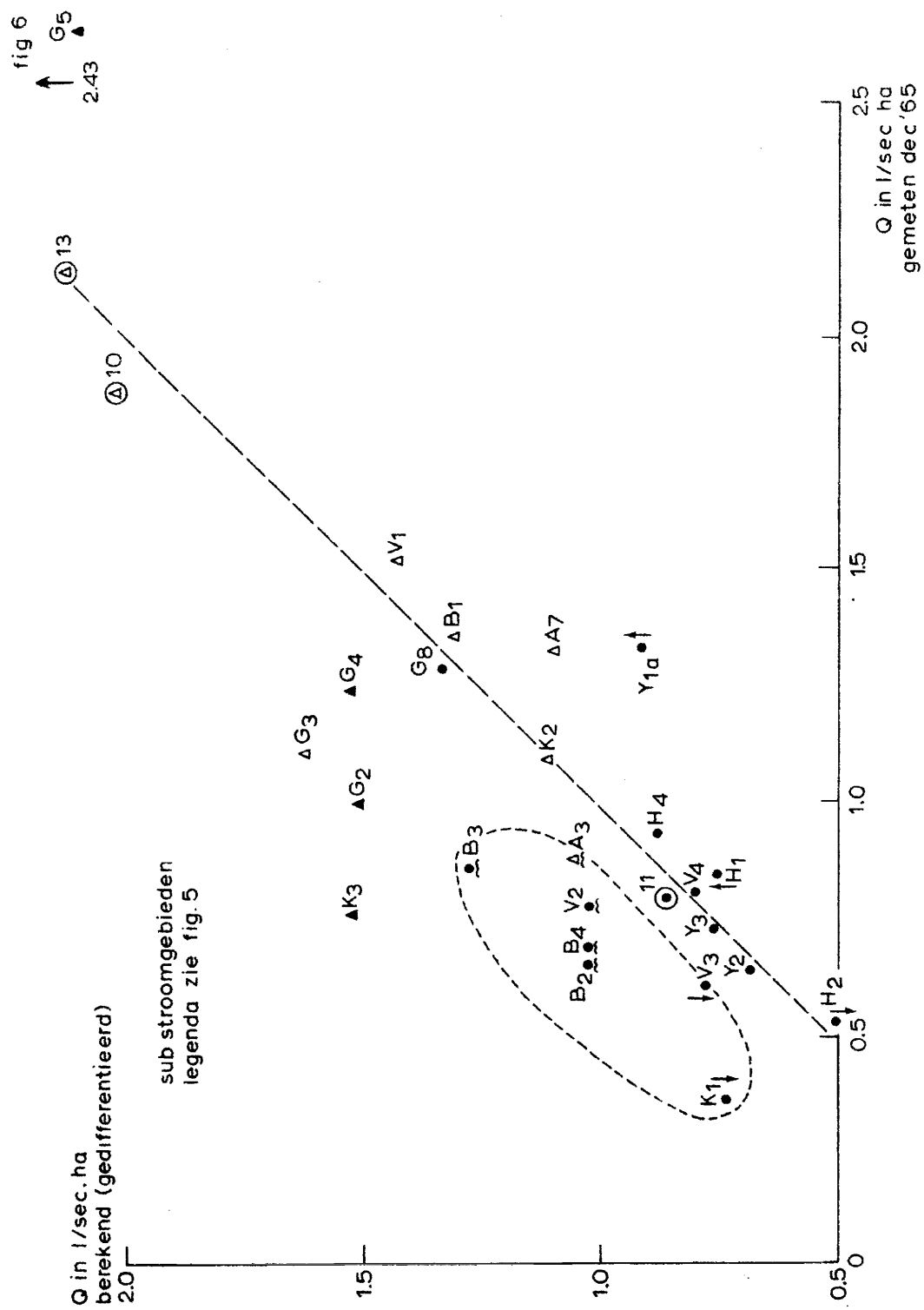


Fig. 4a. Het verband tussen de berekende afvoer van de sub-stroomgebieden met de gemiddelde CD-normen en de gemeten afvoer van december 1965
 4b. Idem afvoer juni 1965



De relatie tussen de gemeten afvoeren van juni en december 1965



Het verband tussen de berekende afvoer van de sub-stroomgebieden met meer gedifferentieerde normen en de gemeten afvoer van december 1965.

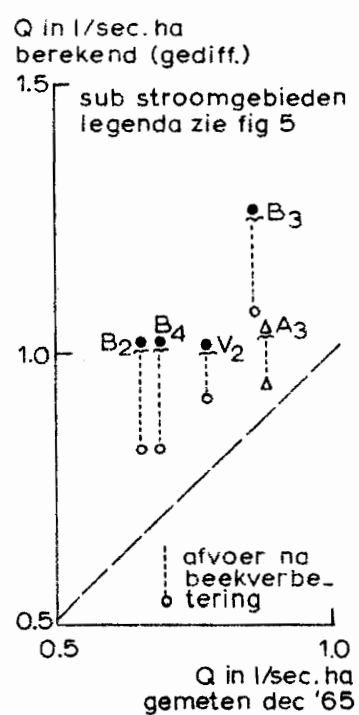


fig 6a

Verlaging van de afvoer van geïnundeerde gebieden na
herberekening van de oppervlakten van de grondwaterklassen

fig 7a

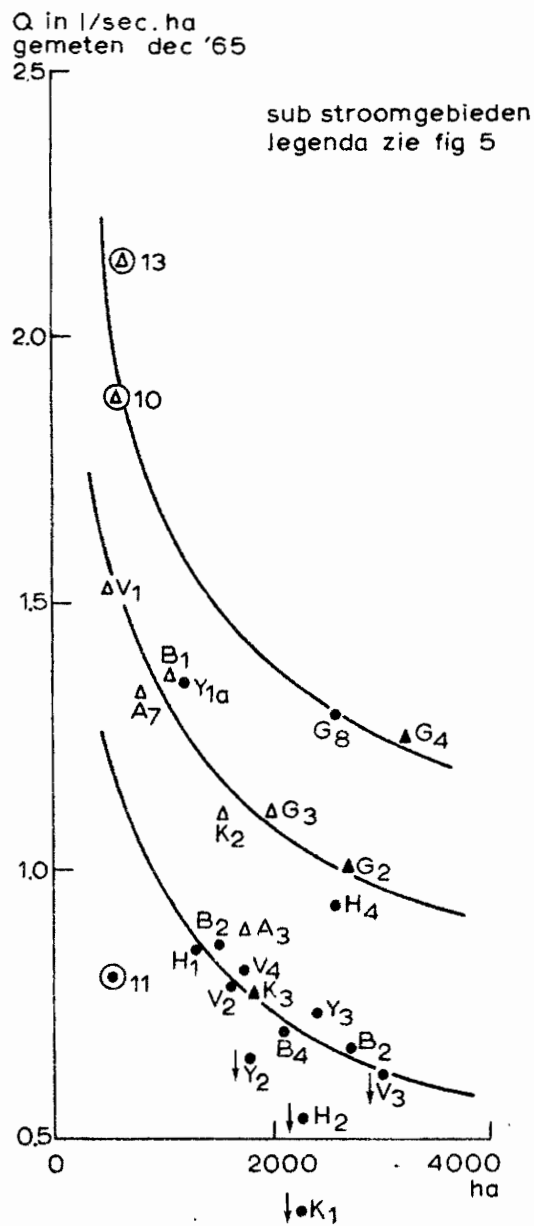


fig 7b

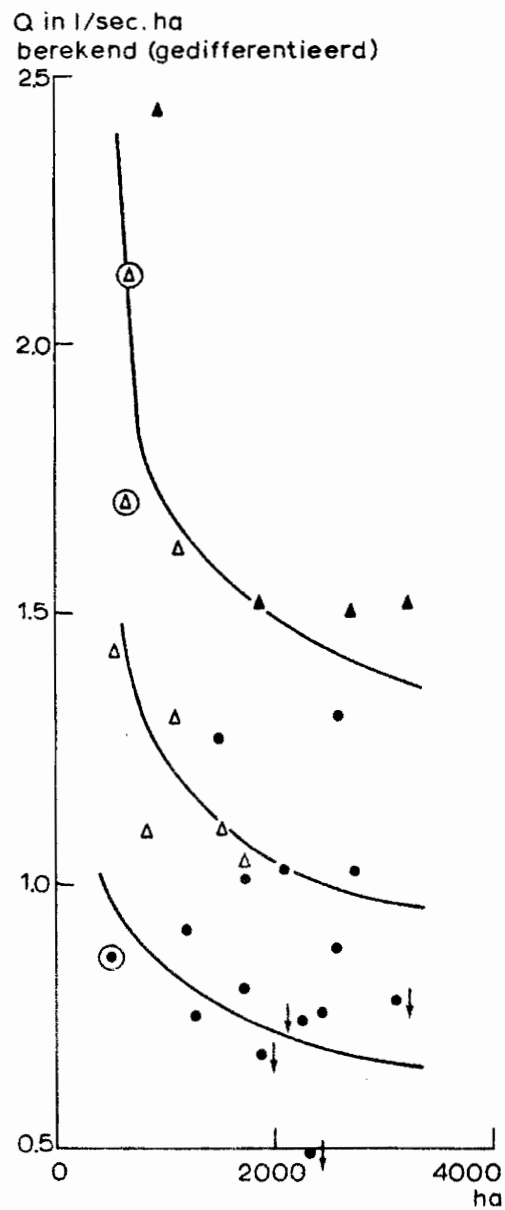


Fig. 7a. De relatie tussen de gemeten december-afvoer van de sub-stroomgebieden en de bijbehorende oppervlakte
 7b. De relatie tussen de berekende afvoer van de sub-stroomgebieden en de bijbehorende afvoer

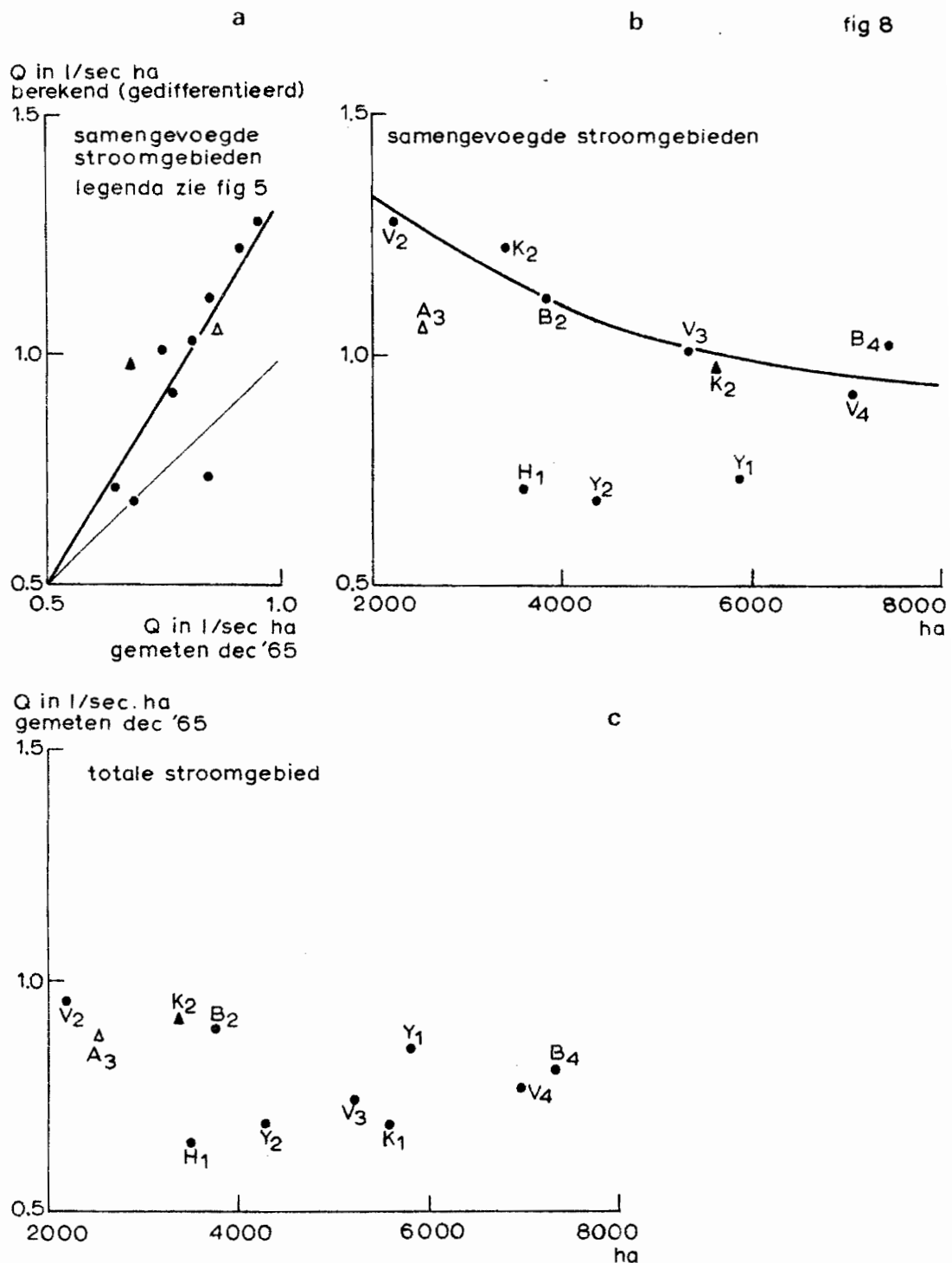


Fig. 8. Het verband tussen de berekende afvoeren van samen-
gevoegde sub-stroomgebieden en de gemeten afvoer (a)
en de oppervlakte (b)
De samenhang tussen de gemeten december-afvoer per
meetpunt en de bijbehorende oppervlakte (c)